

СТАТЬИ

УДК 611.127:612.13

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ СИСТОЛИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ
ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА СЕРДЦА ПО ЭКГ**

Воробьев Л.В.

Лечебно диагностический центр «Виком-мед», Кременчуг, e-mail: leonid.vorobiov51@gmail.com

В связи с растущим распространением сердечно-сосудистой патологии, в том числе и сердечной недостаточности, которая в 40–49% не проявляется при эхокардиографии, необходимо использование и других методов оценки систолической функции левого желудочка. Сердце, выполняя насосную функцию, нагнетает кровь в сосудистую систему через систолу желудочков сердца, оценка которой может быть проведена путем анализа механической систолы с использованием эхокардиографии (фракция выброса левого желудочка – ФВ) и путем анализа электрической систолы желудочков с использованием электрокардиографии (индекс фазы плато – ФП). Наличие двух подходов в оценке систолической функции желудочков сердца обеспечивает контрольную функцию одного метода над другим и широкую доступность населения к ранней диагностике признаков систолической дисфункции миокарда. Метод оценки сократительной функции сердца с помощью электрокардиографии показал высокую корреляцию с методом оценки систолической функции левого желудочка с помощью эхокардиографии, как в диапазоне нормальных величин, так и в диапазоне сниженной систолической функции. Широкая доступность метода электрокардиографии, унифицированность исследования, обеспечивающая отсутствие субъективного влияния на результат, высокая корреляция результатов оценки систолической функции миокарда с методом эхокардиографии позволяют широко использовать оценку насосной функции сердца в медицинской практике с помощью ЭКГ.

Ключевые слова: электрическая систола желудочков, интервал Q-T, фаза плато, фаза изгнания, индекс фазы плато, систолическая функция миокарда

**METHOD FOR DETERMINING THE STATE OF THE LEFT VENTRICLE
HEART SYSTEM FUNCTION BY ECG**

Vorobev L.V.

Medical and Diagnostic Center «Vicomed», Kremenchug, e-mail: leonid.vorobiov51@gmail.com

In connection with the growing prevalence of cardiovascular pathology, including heart failure, which in 40–49% does not occur with echocardiography, other methods of assessing systolic function of the left ventricle are also necessary. Performing a pumping function, the heart pumps blood into the vascular system through the systole of the ventricles of the heart, which can be assessed using the analysis of mechanical systole using echocardiography (left ventricular ejection fraction – EF) and using the analysis of the electrical systole of the ventricles using electrocardiography (plateau phase index – AF). The presence of two approaches in assessing the systolic function of the ventricles of the heart provides both the control function of one method over the other and provides wide access to the population for early diagnosis of signs of systolic myocardial dysfunction. The method of evaluating the contractile function of the heart using electrocardiography showed a high correlation with the method of assessing systolic function of the left ventricle using echocardiography, both in the range of normal values and in the range of reduced systolic function. The wide availability of the electrocardiography method, the uniformity of the study, ensuring the absence of subjective influence on the result, the high correlation of the results of the assessment of systolic myocardial function with the echocardiography method, make it possible to widely use the assessment of the pumping function of the heart in medical practice using ECG.

Keywords: ventricular electrical systole, Q-T interval, plateau phase, expulsion phase, plateau phase index, systolic myocardial function

Актуальность патологии органов кровообращения подтверждается статистическими данными заболеваемости, согласно которым общая заболеваемость системы кровообращения выросла за период 2016–2017 гг. на 2,3% [1].

Патология сердечно-сосудистой системы занимает первое место и по заболеваемости, и по смертности. В структуре общей смертности по последним данным заболевания сердечно-сосудистой системы на Украине составляют 66%, в России – 57%, и в совокупности смерть забирает жизнь до 2 млн человек ежегодно [2–4].

Сердечно-сосудистая система – это одна из важнейших систем жизнеобеспе-

чения, осуществляющая доставку всего необходимого клеткам организма. Сердце, по существу, выполняет насосную функцию по перекачке крови. Насосная функция сердца может быть проанализирована с позиций механической систолы (эхокардиография – ФВ левого желудочка) и с позиций электрической систолы (ЭКГ – индекс ФП). При этом следует учитывать, что ФВ левого желудочка зависит не только от состояния систолической функции левого желудочка, но и от состояния клапанного аппарата сердца. Электрическая же систола желудочков (Q-T) отображает в конечном счете сократительную способность кардиомиоцитов миокарда в целом, нару-

шение которой является источником формирования сердечной недостаточности. Оценка систолической функции миокарда желудочков сердца с помощью электрокардиографии при использовании систолического показателя (СП), длительности интервала Q-T, объединении нескольких методов проводилась и ранее [5–7]. Однако эти способы (одни без должного обоснования со стороны биофизики, электрофизиологии и гидродинамики, другие из-за высокой трудоемкости, ограниченной доступности) не получили широкого применения в медицинской практике.

В современной медицине оценка систолической функции миокарда левого желудочка традиционно проводится в основном с помощью эхокардиографии, при этом применяется показатель механической систолы желудочков – фракция выброса (ФВ) левого желудочка [8, 9]. Однако эхокардиография имеет свои ограничения в виде отсутствия широкой доступности для всего населения, зависимости от профессионализма специалиста, расположения электродов, что влияет на точность измерения. Также существует сложность измерения ФВ в условиях тахикардии, что затрудняет точную оценку динамики систолической функции миокарда левого желудочка. Поэтому актуальными являются поиск и обоснование оценки систолической функции миокарда левого желудочка с помощью показателей электрической систолы, регистрируемой на ЭКГ, которая лишена приведенных выше недостатков эхокардиографии.

Учитывая, что в 40–49% случаев у лиц с клиническими проявлениями сердечной недостаточности регистрируются нормальные показатели ФВ [10, 11], необходим дополнительный показатель, который позволял бы не только регистрировать существующую сердечную недостаточность, но и оперативно отслеживать динамику этой функции миокарда в процессе течения и лечения болезни. Целью настоящего исследования являлась необходимость обоснования дополнительного критерия в изучении систолической функции миокарда левого желудочка с помощью электрокардиографии, имеющей широкую доступность и простоту использования, высокую достоверность результатов и лишенной субъективного влияния на измерение при любой ЧСС.

Материалы и методы исследования

В исследование были включены результаты обследования людей различного возраста (от 4 до 78 лет), которым были выполнены эхокардиография и электрокар-

диография. Для исследования были отобраны 140 человек, которые были разделены на две группы, состоящие из лиц с нормальными показателями ФВ (УЗИ) и электрической систолы желудочков Q-T (ЭКГ) в количестве 100 человек и лиц с нарушением ФВ и Q-T в количестве 40 человек.

В процессе исследования, используя УЗИ сердца и ЭКГ, определяли фазу выброса левого желудочка (ФВ по Симпсону), фазу изгнания (ФИ) в ЭКГ, фазу плато (ФП) в потенциале действия (ПД) с проекцией на ЭКГ и проводили их анализ на совпадение получаемых результатов в оценке систолической функции желудочков сердца.

Результаты исследования и их обсуждение

Деятельность сердца осуществляется с использованием электрических механизмов формирования сердечных сокращений. Для одиночного кардиомиоцита его активность представлена в виде потенциала действия, отображенного на рис. 1.

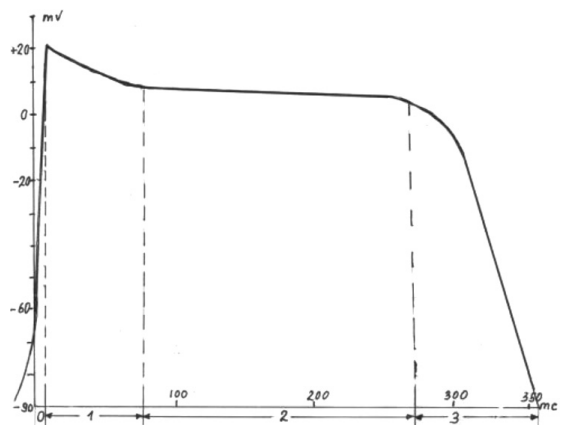


Рис. 1. ПД одиночного кардиомиоцита

0 – Фаза деполяризации потенциала действия одиночного кардиомиоцита – (ПД). Фаза деполяризации мембраны одиночного кардиомиоцита длится от 1–2 до 5 мс.

1 – Фаза начальной быстрой реполяризации ПД. Длительность фазы начальной быстрой реполяризации в ПД обусловлена длительностью деполяризации всех кардиомиоцитов, отображаемых на ЭКГ комплексом QRS, и занимает всю фазу 1 ПД. Деполяризация начинается с верхушки и распространяется к основанию сердца, формируя комплекс QRS, который в свою очередь отображает фазу напряжения миокарда в цикле гемодинамики сердечного сокращения.

2 – Деполяризация всего миокарда желудочков сердца в виде комплекса QRS за-

нимает в среднем от 50 до 100 мс, в цикле гемодинамики этот период называется фазой напряжения.

3 – Фаза медленной реполяризации, или фаза плато (ФП) ПД. Длительность ФП составляет в среднем для спокойного ритма около 250 мс. В этот период осуществляется изгнание крови из желудочков сердца в аорту, при этом выполняется насосная функция сердца. Фаза изгнания состоит из двух частей: фазы быстрого изгнания, совпадающей с фазой плато (до 120 мс), которая на ЭКГ отображается сегментом ST, и фазы медленного изгнания (до 130 мс), отображаемой на ЭКГ зубцом Т, где вторая его половина совпадает с фазой конечной быстрой реполяризации ПД. В норме зубец Т обычно симметричный. Сократительную способность миокарда обеспечивают ионы Са, максимально поступающие из внеклеточного пространства и из внутриклеточных структур, содержащих депо Са, преимущественно в фазу плато. Конец фазы плато приходится на середину зубца Т. Поскольку сокращение миокарда возможно только при посредничестве Са и его основной метаболизм совершается в фазе плато ПД, имеется возможность оценки сократительной функции миокарда через определение процентной доли фазы плато в фазе изгнания в целом.

4 – Фаза быстрой конечной реполяризации ПД. В эту фазу ПД снижается до -95 , формируя потенциал покоя и завершая фазу медленного изгнания крови. Заключительная фаза медленного изгнания совпадает с фазой конечной быстрой реполяризации ПД и отображается на ЭКГ второй половиной зубца Т.

Электрическая систола желудочков, отображаемая на ЭКГ интервалом Q-T, по сути своей отображает потенциал действия (ПД) всех кардиомиоцитов, формируя определенное соответствие между ПД и ЭКГ, которое представлено на рис. 2.

Отрезок (а). Фаза асинхронного напряжения миокарда, отображаемая на ЭКГ зубцами Q и вершиной восходящего колена зубца R, длительностью 50 мс.

Отрезок (б). Фаза изометрического напряжения миокарда, отображаемая на ЭКГ нисходящим коленом зубца R и зубцом S, длительностью 30 мс.

Отрезок (а + б). Фаза напряжения миокарда, обусловленная деполяризацией кардиомиоцитов всего миокарда, отображаемая на ЭКГ комплексом QRS, а на графике ПД она совпадает с фазой быстрой начальной реполяризации с длительностью от 50 до 100 мс в зависимости от ЧСС.

Отрезок (в). Фаза асинхронного сокращения миокарда, длящаяся по времени в среднем 120 мс. Отображается на ЭКГ сегментом ST.

Отрезок (г + д). Фаза изометрического сокращения миокарда, длящаяся по времени 130 мс и отображаемая на ЭКГ зубцом Т. Граница фазы плато с фазой быстрой конечной реполяризации проходит посередине зубца Т.

Отрезок (в + г). Часть фазы изгнания, находящейся в границах фазы плато.

Отрезок (в + г + д). Вся фаза изгнания, сопряженная с фазами ПД (фаза плато и фаза конечной быстрой реполяризации), с длительностью, зависящей от ЧСС; на ЭКГ представлена интервалом S-T.

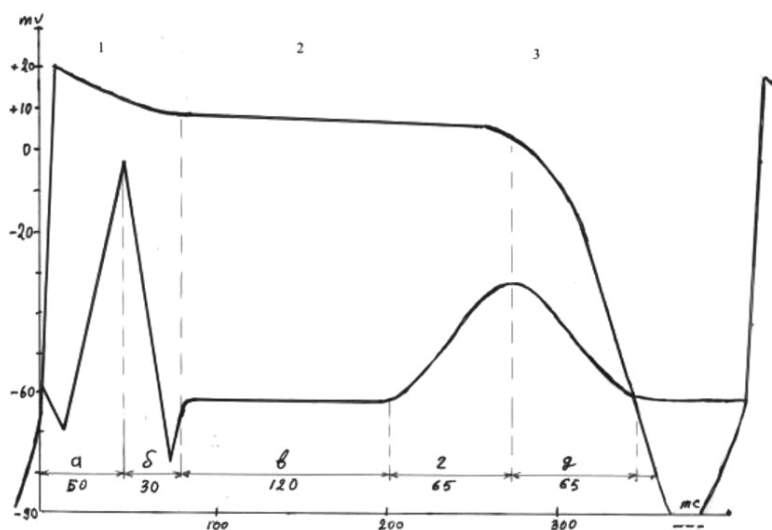


Рис. 2. Сопряжение фаз ПД с фазами гемодинамики систолы желудочков и элементов ЭКГ

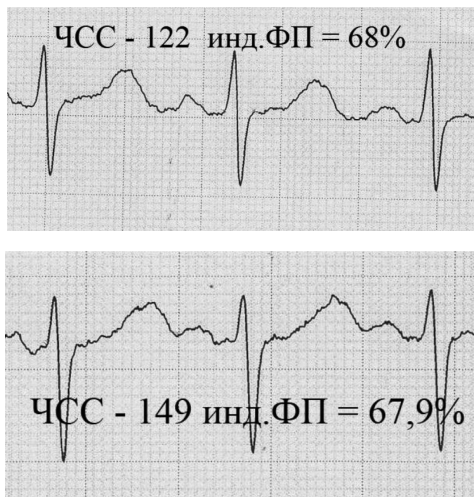
Максимальное перемещение крови из желудочков в кровеносное русло осуществляется в фазу плато и завершается в фазу быстрой конечной реполяризации ПД. Основную роль кальция и действие механизма его внутриклеточного обмена приходится на фазу плато, занимающую определенную долю в фазе изгнания, обеспечивающую выполнение сократительной функции миокарда. Зная долю фазы плато в фазе изгнания, можно оценивать состояние систолической функции миокарда желудочков сердца, используя индекс фазы плато (индекс ФП). Индекс ФП позволяет оценивать физиологический баланс между электрической активностью кардиомиоцитов (ФП) и сердечной гемодинамикой (фаза изгнания).

$$\text{Индекс ФП} = (\text{ФП}/\text{ФИ}) * 100\%,$$

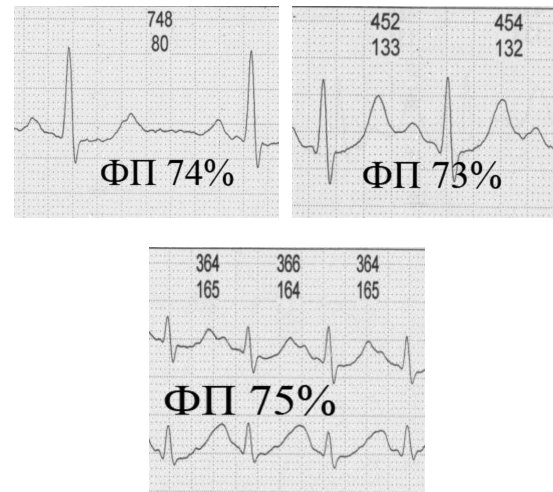
где ФП (фаза плато) = Q-T-QRS-1/2T и ФИ (фаза изгнания) = Q-T-QRS.

Основной задачей сердечной деятельности является обеспечение организма должным кровотоком в зависимости от его потребности. Это достигается удержанием насосной функции в стабильном состоянии вне зависимости от изменения ЧСС, что может быть продемонстрировано примерами электрокардиограмм при разных ЧСС.

Пример 1. Две ЭКГ одного человека с ЧСС 122 и 149, отображающие постоянство индекса ФП вне зависимости от ЧСС



Пример 2. Три ЭКГ одного человека, отображающие постоянство индекса ФП вне зависимости от ЧСС



Как видно из приведенных примеров, при изменении ЧСС сохраняется временной баланс между фазой плато и фазой изгнания, отображенный в индексе ФП.

Обязательным условием, ведущим к высокой достоверности оценки систолической функции миокарда желудочков сердца с помощью ЭКГ, является нормативный баланс между фактической и должной величиной интервала Q-T ($Q-T/Q-T_d * 100 = 100 \pm 10\%$) [12].

Вышеприведенная формула расчета индекса ФП ориентирована на лиц с нормальным показателем соотношения фактического и должного интервала Q-T.

Использование для оценки систолической функции желудочков сердца индекса ФП показало высокую корреляцию с показателями фракции выброса – ФВ. В сравнительном анализе корреляции ФВ с индексом ФП приняли участие 100 человек с нормативным значением ФВ и нормальным соотношением длительности фактической электрической систолы желудочков (Q-T) с должным значением Q-T (табл. 1).

Как видно из результатов соотношения показателей ФВ и индекса ФП, при нормальной величине электрической систолы они хорошо коррелируют между собой и равнозначно оценивают состояние систолической функции левого желудочка.

Таблица 1

Данные сравнения усредненных значений систолической функции левого желудочка по УЗИ и ЭКГ у лиц с исходно нормальной ФВ и нормальным интервалом Q-T

Количество обследованных лиц	Среднее значение ФВ	Границы нормы ФВ	Среднее значение индекса ФП	Границы нормы индекса ФП
100	66,9%	50–75%	67,6%	50–75%

Вследствие различных причин нарушения клеточного метаболизма кардиомиоцитов (таких как блокада кальциевых каналов, электролитный дисбаланс, нарушение проводимости и др.) происходит удлинение интервала Q-T, фазы изгнания (интервал S-T), что может свидетельствовать о признаках сердечной недостаточности [13]. В этом случае для оценки систолической функции желудочков используется формула определения индекса ФП исходя из доли ФП в Q-T.

В случае изменений ЭКГ в виде нарушения деполяризации, реполяризации миокарда желудочков, приводящих к увеличению продолжительности интервала Q-T более 110% в сравнении с нормативным значе-

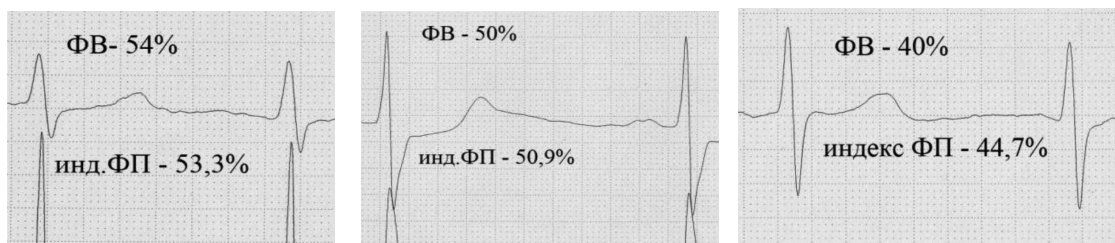
нием Q-T, оценку систолической функции проводят с определением индекса ФП, используя соотношения фазы плато к электрической систоле желудочков в целом.

$$\text{Индекс ФП} = (\text{ФП}/\text{Q-T}) * 100\%,$$

где ФП (фаза плато) = Q-T-QRS-1/2T и Q-T (фактическая длительность электрической систолы желудочков).

Результаты сравнения соотношения ФВ и индекса ФП у лиц с нарушениями сократительной функции миокарда представлены в примере 3.

Пример 3. ЭКГ разных людей с демонстрацией сниженной систолической функции левого желудочка по ФВ и по индексу ФП.



Из представленных примеров ЭКГ лиц со сниженной сократительной функцией миокарда видно, что снижение систолической функции зарегистрировано как с использованием ФВ, так и с использованием индекса ФП. Данное совпадение прослежено на группе лиц (40 человек) со сниженной сократительной функцией миокарда (табл. 2).

Как видно из результатов соотношения показателей ФВ и индекса ФП, у лиц с исходно нарушенными показателями ФВ и Q-T также имеется хорошая корреляция, позволяющая выявлять состояния нарушения систолической функции миокарда желудочков как методом УЗИ сердца, так и с помощью ЭКГ.

Выводы

1. Анализ систолической функции желудочков сердца может быть выполнен через оценку результатов электрической систолы желудочков (ЭКГ – индекса ФП).

2. При нормальном значении соотношения фактического интервала Q-T к должному интервалу Q-Td расчет индекса ФП проводится с определением доли фазы плато (ФП) в фазе изгнания (ФИ) крови из желудочков.

3. При нарушении соотношения фактического интервала Q-T к должному интервалу Q-Td расчет индекса ФП проводится с определением доли фазы плато (ФП) во всей электрической систоле желудочков (Q-T).

4. Анализ систолической функции миокарда желудочков сердца с помощью электрокардиографии позволяет достоверно выявлять людей с сохраненной или сниженной сократительной функцией миокарда и может быть включен в рутинные показатели при анализе ЭКГ, обеспечивая диагностику нарушений систолической функции левого желудочка и контроль ее динамики в процессе лечения.

Таблица 2

Данные сравнения усредненных значений систолической функции левого желудочка по УЗИ и ЭКГ у лиц с исходно сниженной ФВ и расширенным интервалом Q-T

Количество обследованных лиц	Среднее значение ФВ	Граница патологии ФВ	Среднее значение индекса ФП	Границы патологии индекса ФП
40	50,5%	менее 50%	50,35%	менее 50%

5. Широкая доступность метода электрокардиографии, унифицированность исследования, обеспечивающая исключение субъективного влияния на результат, высокая корреляция результатов оценки систолической функции миокарда с методом эхокардиографии позволяют широко использовать в медицинской практике оценку насосной функции сердца с помощью ЭКГ, применяя индекс ФП.

Список литературы

1. Общая заболеваемость всего населения России в 2017 г. Болезни системы кровообращения. Статистический сборник 2017 год. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rosminzdrav.ru/ministry/61/22/stranitsa-979/statisticheskie-informatsionnye-materialy/statisticheskiy-sbornik-2017-god> (дата обращения: 12.01.2020).
2. Сердечно-сосудистые заболевания уносят около 400 тыс. жизней украинцев ежегодно 2017. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.apteka.ua/article/427963> (дата обращения: 12.01.2020).
3. Чазова И.Е., Ощепкова Е.В. Борьба с сердечно-сосудистыми заболеваниями – проблемы и пути их решения на современном этапе // Вестник Роздравнадзора. 2016. № 5. С. 7.
4. Смертность от болезней системы кровообращения и продолжительность жизни. [Электронный ресурс]. URL: <https://demreview.hse.ru/article/download/1761/2484/2017> (дата обращения: 12.01.2020).
5. Фогельсон Л.И. Клиническая кардиология. М.: Медгиз, 1957. С. 459.
6. Малов Ю.С., Борисов И.М., Галова Е.П., Яровенко И.И. Диагностические возможности электрокардиографии систолической сердечной недостаточности // Вестник Российской Военно-Медицинской академии. 2018. № 3 (63). С. 86–89.
7. Суржиков П.П. Возможности определения сократительной способности миокарда методом спиреоартериокардиографии // Международный журнал экспериментального образования. 2014. № 11–1. С. 46–48.
8. Заикина Н.В., Тихонова А.Н. Эхокардиографическое заключение. Информационно-методическое письмо. [Электронный ресурс]. URL: www.rasfd.com/rasfd_docs/Lipeck/EhoKG-2013.doc (дата обращения: 12.01.2020).
9. Lang R.M., Bierig M., Devereux R.B., Flachskampf F.A., Foster E., Pellikka P.A., Picard M.H., Roman M.J., Seward J., Shanewise J., Solomon S., Spencer K.T., Sutton Martin St. John, Stewart W. Рекомендации по количественной оценке структуры и функции камер сердца // Приложение 1 к Российскому кардиологическому журналу. 2012. № 3 (95). С. 15.
10. Бакалец Н.Ф. Сравнительный анализ хронической сердечной недостаточности с сохраненной и сниженной фракцией выброса левого желудочка // Проблемы здоровья и экологии. 2012. № 1 (31). С. 112–116.
11. Рекомендации ESC по диагностике и лечению острой и хронической сердечной недостаточности 2016 // Российский кардиологический журнал. 2017. № 1 (141). [Электронный ресурс]. URL: https://scardio.ru/content/Guidelines/rekom_ostr_hron_nedost_2016.pdf (дата обращения: 12.01.2020).
12. Воробьев Л.В. Метод определения должного значения интервала Q-T не требующего дополнительной коррекции по ЧСС // Научное обозрение. Медицинские науки. 2019. № 2. С. 42–47.
13. Малов Ю.С. Удлинение систолы желудочков – признак нарушения сократительной функции миокарда // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2016. № 1. С. 5–7.